

「物理学における空間と時間」

(昭和 44 年度始業講演——文理学部)

遠 藤 真 二

すべての自然現象を貫いて流れる基本的な法則性の記述を志す物理学にとって、空間と時間という二つの概念は最も根本的でもあり最も重要な概念であると言えよう。人間の認識するすべての自然現象は空間と時間の中においてしか認識されえないものだからである。このことを端的に示す例として、われわれはいわゆる科学革命と呼ばれる大変革の時期を振り返ってみなければならない。物理学史をひもといてみればこのように科学革命と呼ばれるにふさわしい二つの時期が存在する。その一つは Galilei より Newton に至る 17 世紀であって近代物理学が成立した時期であり、他は 20 世紀初頭の相対性理論と量子論とが相次いで現われて現代物理学の確立された時期である。この二つの科学革命はさまざまな面から評価することができるが、その評価の一つとしていずれにおいても時間空間の概念が飛躍的な変化を遂げたという事実は見逃しえないものである。これらの概念の変化は当然哲学にも大きな影響を与えた。このように物理学の革命は時間空間概念の変革と切り離し難く結び看いていたにもかかわらず、それ以外の時期においてはこれらの概念は物理学者からも哲学者からも顧みられることが極めて少い。これらの概念があまりにも基礎的なものであることがその重大な一因となっていると思われる。しかしこれらは顧みられることがないままに常識の中に忍び込み、ある場合には人生観の礎石の中にさえ食い込んでいる。その意味においてわれわれは現在の物理学がどのような時間空間概念を持っているか、それは過去のものとのどのように違っているかということを考えてみなければならない。

それでは現代の一般人の常識としての時間空間とはどのようなものであろうか。それはおそらく、17 世紀の科学革命の基礎となった絶対空間・絶対時間に極めて近いものであろうと推測される。すなわち、数学でしばしば用いられるような均一等方な無限の三次元空間と、同じく均一で一方向に流れる無限の一次元の時間とであって、これらはその中に存在するさまざまな物質とは独立に存在しているものとして思考されているようである。このような第一次科学革命における空間と時間の性格はそれ以前のものとどのように異っているであろ

うか。また第二次科学革命以後の現代のものとどのように異っているであろうか。その点を以下において考察してみたい。

ギリシャの自然哲学において既にある程度の空間概念を指摘することができるけれども最も特色のある明確な概念を打ち出したのは Aristoteles (384 B.C. ~ 322 B.C.) の空間論であろう。正確に言えばそれは現在言われる意味での空間ではない。Aristoteles の哲学では「場所」という概念が極めて重要であってこれがわれわれの言う空間に対応している。彼の著書「自然学」の第四巻は(場所について)、(空虚について)、(時間について)の三部に分けられており、これは明確な時間空間論の体系の述べられた最初の著書であると思われる。これをよく理解するためにはまず彼の運動論の概要を知らねばならない。彼によれば物体の運動には自然的運動と暴力的運動とが存在する。自然的運動とは内在的・永遠的原理に基づく自発的な運動であって、天体の円運動はその一例である。他方、地上の物体すなわち土・水・空気・火などはおのその固有の場所をこの宇宙の中で占めている。すなわち宇宙の中心(地球の中心)のまわりには最も重い土が存在し、他の元素もその重さに従ってそれぞれ順次にそのまわりの場所を占め、最も外側にはエーテルによって構成される天球が存在するものとされた。そこで地上の物体に関しては、何らかの外的原因によってそれらがその固有の場所から引き離されて動くのが暴力的運動であり、それらがまた再びその固有の場所へと戻って行くための上方または下方への直線運動が自然的運動なのであった。この運動論の素描からもわかるように Aristoteles の宇宙はある場所的な秩序を持った有限な(球形の)宇宙なのであって、近代の人間の持つような絶対空間の概念とは全く異質なものであった。さらにまた(空虚について)に述べられているように、彼は空虚(真空)の存在を否定している。空虚があってその中を物体が運動するものと考えれば、空虚は等方均一なものであるから、場所と方向とに特別な意味を与える彼の運動論は全く成立しなくなるのである。したがって彼の宇宙は物体の充満した宇宙であり、それらの物体の拡がりさえもわれわれ近代および現代人の言う空間ではない。まず空間(真空)が存在し、その一部を物体が占拠しているという考え方に慣れてしまったわれわれにとっては彼の場所論は極めてわかりにくいものになってしまっている。彼の場所論から重要と思われる一節を引用してみると、彼は場所とは何であるかを考察して次のように言っている。「場所は(1)それで包まれるものの型式であるか、あるいは、(2)そのものの質料であるか、あるいは、(3)包むものと包まれるものとの両方の最端の面と面との中間のある何らかの

広がり〔すきま〕であるか、あるいは、(4) もしそれに包まれてそこに生じる物体の大きさより以外になにもそうした中間のすきまがないなら、これら両方の最端の面そのものがその物体の場所であろう。」そして考察を進めて始めの三つを否定し、彼は(4)こそが場所でなければならないと言っている。物体の広がりとは場所ではないのだから、彼のこの一見難解な考察も考えてみれば極めて当り前のことを言っているに過ぎない。以上のような Aristoteles の空間概念は古典物理学成立の際にはいったん全面的に否定されねばならなかったのであるが、古典物理学に叛いた現代物理学の立場からすればやはり興味深いいくつかの示唆を含んでいるということは後に触れる。ついでに彼の時間概念も一瞥しておこう。彼は「時間は運動ではないが、運動なしに存在するものでもない」と言っており、さらに「時間とは前と後に関しての運動の数である」とも言っている。つまり彼の時間は測られるものであり、運動すなわち変化のうちに存在するものであって、連続的・永遠的な性格を持つ絶対時間なのであった。

以上のような Aristoteles の考え方は西欧中世においては疑うべからざる一つの權威であったが、これに対抗して絶対空間・絶対時間の概念を樹立し、その基礎に立って近代物理学の理論体系を打ち出したのがいわゆる科学革命である。しかし絶対空間の概念の萌芽は既に6世紀の自然哲学者 Philoponus に現われて来ている。彼は Aristoteles の宇宙体系の理論を継承しながら、その「場所」の概念に疑問を投げかけた。すなわち生成消滅をくり返す地上の物体の広がりとは天球の広がりとの境界にある場所、すなわち月の天球を取り上げて、この天球が地上の物体に対して回転しながらしかも球面であるため全体として常に同一の位置にとどまっている点を指摘している。そうだとすれば天球を構成する物体自体とは独立なその占める場所(空間)というものの存在が考えられるわけで、これは絶対空間の考えへの第一歩といえることができよう。しかし何と云っても、Aristoteles の宇宙が有していた場所の秩序に最初の根本的衝撃を与えたのは、Copernicus (1473~1543) である。彼は宇宙の中心を地球から太陽に移そうとしたに過ぎないが、これは「場所の秩序」の考えがさまざまな元素の同心球状の配列であったことに対する大きな挑戦となっている。続く一步は Bruno (1548~1600) の唱えた宇宙の無限性の考えであろう。彼は思想家として、Copernicus の理論の中に含まれていた考え方を大胆に押し進めた。彼にとっては太陽系も宇宙の中の無数の系の一つに過ぎず、果てしなく続く空間の中にこれらの系がいわば浮かんでいるのが彼の宇宙観なのであった。しかし古典物理学の体系が確立されるためにはなお「空間の数学化」とで

も言うべき変化が必要である。すなわち真空という概念の実験的裏づけによる確立と、その属性としての等方均一性の確認とである。この方面での最初の大きな一歩は Galilei (1564~1642) によって踏み出された。中世において権威を持っていた Aristoteles の考え方においては、物理学と数学とは全く別の分野の科学であって、その双方の分野は混同すべきでないものと考えられていた。Galilei はこれに対して、物理現象は数学的に記述されるべきものであるという立場を明らかにしている。現実的な物理現象が抽象的な数学表現をとりうるというこの認識は、やがて物理現象の基盤である時間・空間をも数学的な抽象空間のように考えるという見方に繋って行くのである。等方均一な空間と時間による新たなこの宇宙像こそ科学革命の本質をなすものであった。もう一つの歩は、前述のように「真空」というものが抽象的概念としてではなく物理的実在として実験的に得られたという点である。これは Galilei の門人であった Toricelli (1608~1647) が行なった有名な実験から始まる。真空が物理的に実在するものならばそれは物質の属性である不均一性・非等方性を免れたものであろうという考え方が当然生じてくる。こうしてだんだんと確かめられて行った絶対空間・絶対時間の考えをはっきりと打ち出したのはやはり Newton (1643~1727) であると思われる。彼の著「プリンキピア」から引用してみよう。

「絶対的な、真の、数学的な時間は、自ら、そしてそれ自身の本性から、他の何物にもかかわりなく、一様に流れる。」「絶対的空間は、その本性において、いかなる外的事物にも無関係に、常に同形、不動に存在する。」「絶対的運動は、一つの絶対的場所から他の場所への物体の移動である。」古典物理学の考え方に慣れた現代人にとってはこれらの絶対空間・絶対時間の考えはむしろ当然のものとも思われるかもしれない。このような抽象的空間・時間の考えは哲学の面にも影響を及ぼした。Kant (1724~1804) の思想にもその跡が見られる。「純粹理性批判」によれば、「空間は単に外官の一切現象の形式にほかならない。」しかしながら同じ抽象的空間を想定しても Kant と物理学者たちの間には大きな差違があったように思われる。物理学者たちの考えでは、空間とは天体間の真空として現われるような実在であって決して単なる形式でなかったと言えよう。これ以後19世紀の間、空間・時間の概念には大きな変化はなかったように思われる。ただこの間に、これと直接に関係はないが後になって空間の考え方に重要な影響を及ぼすはずの一つの理論が物理学において形成されて来た。場の理論がそれである。二つの物体が相互作用を行なっている場合、従来の力学によればこの二つの物体の間には遠隔作用としての力が働いており

二つの物体の間は全くの真空であってよい。ところが場の理論ではこの二物体間にはエネルギーの担い手としての場が存在し、相互作用を媒介している。したがって物体のない空間にも場のエネルギーは必ず存在しており、エネルギーさえ存在しない空間は考えられないことになった。

20世紀初頭にはまず Einstein (1879~1955) の相対性理論が現われて来て、空間・時間の概念を大きく揺り動かした。まず特殊相対性理論においては、三次元の空間と一次元の時間とが別々の存在としてではなく、一つの四次元の時空としてとらえるべきであることが明らかになった。また直接の変化は与えなかったが、後になって時空概念に形響を及ぼしたことから、長さとか時間間隔とかは観測者と被観測体との相対速度に応じて異なって見えるものであるということと、エネルギーと物質とは本来同一のものであってその稀薄な状態を従来はエネルギーと呼び集中して存在する状態を物質と呼んでいたということが示された。この後者の認識は、前述の場の理論と結び着くと、真の意味での真空は決して存在しえないことを意味する。そうだとすれば真空を実在と見てきた物理学者の立場は弱められて、空間（あるいは時空）とは形式であるか、実在であるかの問題が再登場してくる。Einstein が次いで提出した一般相対性理論は更に大きい影響を時空概念に及ぼした。われわれがエレベーターに乗っているとその昇降の加速度によってエレベーターの床に押しつけられて浮き上がったたりする感じを持つ。このように加速度はある面から見て重力（あるいは万有引力）の増加・減少と同種の効果を持つ。加速度があって種々の速度が存在すれば、特殊相対性理論による長さの縮みや時間の遅れの程度がさまざまになってくるから、万有引力の大きさの違いによっても同様のことが生じる。ところが物質があれば必ず万有引力が存在し、場所によってその強弱が生じるので、われわれのこの宇宙は場所によって長さの縮みや時間の遅れがさまざまな値を示すいわば歪んだ宇宙になる。数学的には非ユークリッド幾何学の時空である。このように物質やエネルギーの存在する宇宙は等方均一な時空ではなくなり、ある意味では Aristoteles に似た要素を持つ物理的時空の概念が誕生したと言える。

これと多少関連して興味深い哲学者に Bergson (1859~1941) がある。具体的なものに即して哲学を展開するこの哲学者がその著「アリストテレスの場所論」で抽象空間よりも Aristoteles の物理的空間に興味を示したのは当然のことである。しかしやはりその著書「持続と同時性」の中での Einstein 批判は特殊相対性理論に対しては有効でも、一般相対性理論に対してはそうではなく

一般相対性理論には彼の持続の概念さえ取り入れうるような可能性をはらんでいたのではないかと思われる。急激な変化が生じる場所とそうでない場所とでは時間の経ち方まで異なってくるからである。

現代物理学におけるもう一つの重要な理論である量子論が時空概念に及ぼす影響はまだ正確にはわからない。何度か時空の量子化つまり不連続化の理論が企てられたが成功しているとは言い難いのである。私見によれば、この失敗は、時空が形式であるか実在であるかを見極めていないことから来ている。同じく私見によれば抽象的時空とは実在でも形式でもなく一つの極限概念である。現実の宇宙には物質がある場所には集中し他の場所には稀薄化して充滿しているが、その稀薄さの極限概念が抽象的空間であり、変化の稀薄化の極限が抽象的永遠である。この極限概念を逆用してわれわれは現実を把握するのに用いている。そこで実は物質と時空とは相補的な概念であって、一方の性格が強くなる所では他方の性格は弱くなるというように考えて量子化の理論を樹立すべきではないかと思われる。

現代における時空概念は次第に抽象的時空を離れ物理的時空に変化して来たという意味で古い Aristoteles の考え方の中にある種の興味が見出されるであろう。